



TITLE:

鉄道車軸の超音波探傷における車軸一車輪のはめ合いの影響に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

牧野, 一成

CITATION:

牧野, 一成. 鉄道車軸の超音波探傷における車軸一車輪のはめ合いの影響に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-07-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19238>

RIGHT:

本論文の一部は、著者自身が第一著者として執筆した、査読後の以下の各論文の内容をまとめたものである。出版社の著作権あるいはポリシーに基づき、各論文の出典の詳細を以下に記す。(1) 第2章(2.5節を除く) スプリング界面における超音波伝搬の理論 第4章 小型輪軸の超音波探傷におけるはめ合いの影響に対する理論的評価・著者: Kazunari Makino (牧野 一成), Shiro Biwa (琵琶 志朗)・タイトル: Influence of axle/wheel interface on ultrasonic testing of fatigue cracks in wheelset・掲載誌: Ultrasonics 53 (2013), pp. 2397248・発行年月日: 平成24年6月28日(オンライン版)・出版社: Elsevier (<http://www.elsevier.com/>)・出版社版リンク: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultras.2012.06.007>(2) 第3章 小型輪軸の車輪座疲労き裂の超音波探傷における曲げ負荷とはめ合いの影響・著者: Kazunari Makino (牧野 一成), Shiro Biwa (琵琶 志朗), Hiroshi Sakamoto (坂本 博), Jiro Yohso (養祖 次郎)・タイトル: Ultrasonic evaluation of fatigue cracks at the wheel seat of a miniature wheelset・掲載誌: Nondestructive Testing and Evaluation 27 (2012), pp. 29746・発行年月日: 平成23年7月13日(オンライン版)・出版社: Taylor & Francis (<http://www.tandfonline.com/>)・出版社版リンク: <http://dx.doi.org/10.1080/10589759.2011.577430> "This is an Accepted ...

京都大学	博士（工学）	氏名	牧 野 一 成
論文題目	鉄道車軸の超音波探傷における車軸－車輪のはめ合いの影響に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、鉄道車軸の超音波探傷において車軸と車輪のはめ合い状態がきずからの反射波信号（きずエコー）に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、疲労き裂を導入した小型輪軸試験片および人工きずを加工した実体輪軸に対して行った実験的研究、ならびに車軸－車輪はめ合い界面をスプリング界面としてモデル化して超音波反射挙動を解析した理論的研究の成果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章では、研究の背景および目的を述べている。まず、鉄道車両に用いられる車軸の強度および非破壊検査の現状についてまとめ、車軸の超音波探傷では、車軸と車輪のはめ合い端部のフレットングに起因して発生する疲労き裂の検出が重要となることを述べている。つづいて、車軸に対する超音波探傷の原理についてまとめ、きずエコーの振幅に着目することできずの検出、ならびにきずの面積や深さの評価を行えることを述べている。さらに、鉄道車軸の超音波探傷の問題点として、モデル車軸に設けられた較正用人工きずと実機に生じる疲労き裂との超音波反射挙動に相違があること、実際の検査では車軸に曲げ負荷が加えられた状態で探傷する場合がありき裂の開口状態が変化することに加えて、車軸と車輪のはめ合い部の接触状態がきずエコーの測定値に影響を及ぼすことを挙げ、本研究の目的を述べている。</p> <p>第2章では、車軸－車輪はめ合い部における超音波反射挙動を理論的に検討するための基礎事項についてまとめている。まず、固体接触界面のモデルとして用いられるスプリング界面について、超音波縦波および横波が垂直に入射する場合の反射挙動を解析し、はめ合い界面を特徴づける界面剛性（垂直剛性およびせん断剛性）と超音波反射率の関係を理論的に導いている。つづいて、斜角入射横波による車軸の探傷を想定して、スプリング界面に超音波横波が斜めに入射する場合の反射率の計算法を示し、入射角と横波反射率の関係を説明している。さらに、曲率を有する車軸－車輪はめ合い界面における超音波反射挙動を、周期的に配置した非接合部によりスプリング界面を等価的に模擬した三次元動的有限要素解析にもとづいて検討し、平面状のスプリング界面に対する理論を車軸－車輪はめ合い界面に適用することの妥当性を検証している。</p> <p>第3章では、疲労き裂を導入した小型輪軸試験片を用いて、車軸に加わる曲げ負荷ならびに車輪のはめ合わせがきずエコーに及ぼす影響について実験的に検討している。このために、直径 57 mm の中実小型車軸に車輪をはめ合わせた小型輪軸に対して、繰返し回転曲げ負荷によりはめ合い部に疲労き裂を発生させ、車軸に異なる方向の曲げ負荷を加えた状態で超音波横波を入射し、きずエコーを測定している。その結果、車軸に加える曲げ負荷がきずエコーに顕著な影響を及ぼすこと、特に疲労き裂が存在する車軸表面が引張側となるように曲げ負荷を加えるとき裂が開口し人工きずに近い状態となることを明らかにしている。また、車輪がはめ合わされた車軸では、車輪がない場合</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	牧 野 一 成
<p>に比較してきずエコーの振幅が低下することを示し、その原因として、超音波が車輪側に部分的に透過すること、はめ合い界面の摩擦がき裂開口に影響を与えることを挙げている。</p> <p>第4章では、第3章に示した実験的検討で得られた知見について理論的観点から検討している。すなわち、車軸－車輪はめ合い界面をスプリング界面としてモデル化し、超音波横波を斜めに入射した場合の反射挙動について理論解析を行っている。このために、第3章の実験で用いたのと同様の小型輪軸試験片の車軸－車輪はめ合い界面に超音波縦波および横波を垂直に入射した場合の振幅反射率を測定し、はめ合い界面の垂直およびせん断剛性を実験的に同定している。つぎに、実験的に同定した値を基準として界面剛性を変化させ、はめ合い界面における斜角入射横波反射率の入射角依存性に及ぼす界面剛性の影響を、数値計算を用いたパラメータスタディにより明らかにしている。これにより、車軸に車輪をはめ合わせると、車輪がない場合と比べて車軸表面での超音波反射率が低下することによりきずエコー振幅が低下すること、さらに車輪はめ合いによるエコー振幅の低下度が超音波の周波数によって異なることを示し、実験結果を定性的に説明することに成功している。また、実験的に同定した界面剛性にもとづいてエコー振幅の低下度を計算した結果と実験結果との定量的差異について考察し、その理由としてはめ合い界面の摩耗にともなう界面剛性の低下を挙げている。</p> <p>第5章では、人工きずを加工した実体輪軸に対して、供用中に加えられる繰返し回転曲げ負荷による車軸－車輪はめ合い状態の変化がきずエコーに与える影響を実験的に検討している。すなわち、直径 193 mm の中ぐり車軸と外径 860 mm の車輪からなる実体輪軸のはめ合い部に複数の人工きずを加工し、約 10 ヶ月間に及ぶ繰返し回転曲げ負荷にともなうきずエコー振幅の変化を測定した後、長期的な気温変化による影響を補正したデータとしてまとめている。その結果、繰返し負荷により進行する摩耗が車軸－車輪はめ合い状態を変化させ、超音波探傷時のきずエコー振幅に影響を与えることを明らかにしている。また、きずの両側ではめ合い界面の摩耗度が異なるため、超音波入射方向の違いによってもエコー振幅が異なることを示している。さらに、はめ合い界面の摩耗の進行度合いによって、車軸に加えられた曲げ負荷がはめ合い状態に及ぼす影響も変化するため、車軸供用後の超音波探傷の時期や、きずの位置と曲げ負荷方向の相対関係によって、エコー振幅が変動し得ることを明らかにしている。これらの知見を踏まえて、車軸の超音波探傷に際して考慮すべき課題や、その解決法についての提言を示している。</p> <p>第6章は結論であり、本研究で得られた成果ならびに今後の課題を述べている。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、鉄道車軸の超音波探傷において車軸と車輪のはめ合い状態がきずからの反射波信号(きずエコー)に及ぼす影響を明らかにすることを目的として、小型輪軸試験片および実体輪軸に対して行った実験的研究、ならびに車軸－車輪はめ合い界面での超音波反射挙動に関する理論的研究の成果をまとめたものであり、主な内容は以下の通りである。

1. 繰返し回転曲げ負荷により車軸－車輪はめ合い部に疲労き裂を発生させた小型輪軸試験片に対して種々の方法によりきずエコーを測定し、超音波探傷時に車軸に加える曲げ負荷がエコー振幅に顕著な影響を及ぼすこと、特に疲労き裂が存在する車軸表面が引張側となるように曲げ負荷を加えるとき裂が開口し人工きずに近い状態となることを明らかにした。また、車輪がはめ合わされた状態では、超音波が車輪側に部分的に透過すること、およびはめ合い界面の摩擦がき裂開口に影響を与えることにより、車輪がない場合と比較してきずエコーの振幅が低下することを示した。

2. 小型輪軸試験片の車軸－車輪はめ合い界面に超音波縦波および横波を垂直に入射した場合の振幅反射率を測定し、はめ合い界面をスプリング界面としてモデル化した場合の垂直および接線方向の界面剛性を同定した。また、同定された界面剛性を用いてはめ合い界面における斜角入射横波の反射挙動を理論的に解析した。その結果、横波反射挙動に及ぼす界面剛性の影響を明らかにするとともに、車輪はめ合いによりきずエコーが低下すること、ならびにその低下度が周波数によって異なることを定性的に説明することに成功した。

3. 複数の人工きずを加工した実体輪軸に対して、回転曲げ負荷の繰返しにともなうきずエコーの変化を測定し、繰返し負荷により進行する摩耗が車軸－車輪はめ合い状態を変化させ、超音波探傷時のきずエコー振幅に影響を与えることを明らかにした。また、測定時の曲げ負荷方向や超音波入射方向がきずエコー振幅の測定結果に与える影響を明らかにした。

以上のように本論文は、鉄道車軸の超音波探傷において車軸と車輪のはめ合い状態がきずエコーに与える影響について実験的ならびに理論的に明らかにしており、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年6月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。